动 物 学 研 究 1998, 19 (5): 359~366　CN 53-1040/Q　ISSN 0254-5853
Zoological Research

褐菖鲉精细胞晚期的变化及精子结构研究

林丹军　尤永隆
（福建师范大学生物工程学院　福州　350007）

摘　要　本文研究卵胎生硬骨鱼褐菖鲉（*Sebastiscus marmoratus*）精细胞的成熟变化和精子结构。褐菖鲉精细胞发育晚期已具有硬骨鱼类精子的结构雏形：细胞核的背面较平坦，腹面稍外鼓，呈弧面；染色质浓缩成团块状，核的腹侧和后端的染色质较致密；中心粒复合体由近端中心粒和基体组成，近端中心粒和基体排成"L"形；近端中心粒向细胞核的背侧伸出中心粒附属物，中心粒附属物由9条微管组成，9条微管围成一筒状结构，类似轴丝。在晚期精细胞形成精子的过程中，中心粒附属物和近端中心粒相继退缩以至消失不见，同时细胞核后端的形状也随着发生变化。中心粒附属物和近端中心粒的相继消失可以看作是成熟的最后标志。精子的中心粒复合体由基体及其上方的基体帽组成，袖套接于核的后端，其中约有30~40个线粒体；鞭毛从袖套腔中伸出，鞭毛的中心结构是轴丝；轴丝外方为细胞质形成的侧鳍，在鞭毛的近核段，轴丝两侧的侧鳍较宽且不对称。

关键词　褐菖鲉，晚期精细胞，中心粒复合体，精子，超微结构
中图分类号　Q959.483

绝大多数硬骨鱼类为卵生、体外受精类型，只有少数硬骨鱼类是胎生或卵胎生、体内受精类型。有关硬骨鱼的精子发生和精子结构的研究多集中于卵生、体外受精类型（Billard, 1986; 管汀鹭等, 1990; 张旭晨等, 1992; 尤永隆等, 1996a, 1996b, 1997）。有关胎生或卵胎生、体内受精类型的硬骨鱼精子发生和精子结构的报道不多（Deurs 等, 1973; Grier, 1973, 1975; Gardiner, 1978）。分布于我国东南沿海的褐菖鲉 *Sebastiscus marmoratus*（Cuvier *et* Valenciennes）是一种卵胎生、体内受精类型的硬骨鱼（朱元鼎, 1985）。我们在研究褐菖鲉的体内受精机理时发现从输精管中取出的精子在同一生理盐水中的活动存在着较大的差异。在电镜下观察这些精子，发现其中有发育晚期的精细胞。

硬骨鱼的精子形成（spermiogenesis）分为3个阶段：早期精细胞、中期精细胞和晚期精细胞（Grier, 1973; 管汀鹭等, 1990）。晚期精细胞已具备了精子的雏形。在褐菖鲉的晚期精细胞变态为精子的过程中，中心粒复合体发生了独特的变化。本文对此变化和精子的结构进行了深入的探讨。

1　材料和方法

每年的11月至次年的3、4月份为褐菖鲉生殖季节。1995~1997年的这一季节，我们从福建宁德沿海采集野生性成熟的褐菖鲉雄鱼11尾，剖腹取出乳白色输精管。用海水鱼生理盐水洗涤后置培养皿中备用。

本文 1997-09-08 收到，1998-03-23 修回

1.1 光学显微镜标本的制备

每对输精管加入 0.5 mL 海水鱼生理盐水。剪碎输精管，加入等量的 2.5% 戊二醛 (pH7.4)，经双层滤布过滤，滤液称为精子悬液。将精子悬液涂于载玻片上，晾干，置 Ehrlich 苏木精染色液中染色 24 h，各级酒精脱水，中性树胶封片。置 OLYMPUS BH－2 显微镜下观察精子外形。

1.2 电镜负染标本的制备

将精子悬液滴于铜网上，室温干燥，2% 磷钨酸染色 3 min，干燥后置 JEOL，JEM－1200EX 型透射电镜观察。

1.3 超薄切片标本的制备

将用海水鱼生理盐水洗涤的输精管置于 2.5% 的戊二醛中固定 30 min，剖开输精管。其中经固定后的精液呈白色细线状（直径 0.5 mm 左右），将此固态的细线状精液切成 2 mm 长的线段，置 2.5% 的戊二醛，4℃过夜备用。样品经 0.1 mol/L 的 PBS 漂洗，1% 锇酸后固定，各级乙醇脱水，Epon 812 树脂包埋。切片经醋酸铀和柠檬酸铅染色后，置上述透射电镜观察。

1.4 晚期精细胞和精子的计数

在透射电镜的放大倍数为 2.5 万倍下观察标本，随机选取若干个视野，分别计算每一个视野中晚期精细胞和精子的数量。计数过的视野不重复计数。

2 结 果

2.1 晚期精细胞的成熟变化

褐菖鲉晚期精细胞基本上已具备了精子的结构：头部的主要结构是细胞核，细胞核前端无顶体；细胞核中的染色质已浓缩成团块状，但致密程度不均，在细胞核的一侧，染色质较疏松，该侧称为背侧，其对侧的染色质则较致密，称为腹侧；线粒体已进入核后袖套之中；鞭毛已形成。但是与精子相比，晚期精细胞头部有较多的囊泡；细胞核后端的形状也有些差异，而最重要的差异是中心粒复合体的结构与成熟精子明显不同。在晚期精细胞的成熟过程中，中心粒复合体出现明显的变化。伴随着中心粒复合体的变化，细胞核后端的形态也发生一些改变（图 1；图版Ⅰ：9～12；图版Ⅱ：19～23）。

2.1.1 中心粒复合体的变化 晚期精细胞的中心粒复合体由近端中心粒和基体组成。近端中心粒和基体位于植入窝，两者相互近垂直，成“L”形，同在精子细胞头部的正中矢状切面上。近端中心粒位于头部的背侧，基体则略靠腹侧。近端中心粒的主轴与细胞核的主轴垂直（图 1：A、E；图版Ⅰ：9）。从近端中心粒的背侧端伸出中心粒附属物（centriolar adjunct）。中心粒附属物由 9 条微管构成。9 条微管围成一筒状结构（图版Ⅱ：14），类似轴丝。中心粒复合物伸向核的背侧，在中心粒附属物周围无染色质分布。伸入植入窝的中心粒附属物外被核膜，细胞核背侧的核膜又包住中心粒附属物外的核膜，因此中心粒附属物的外方包有双重核膜（图 1：A、E；图版Ⅰ：9；图版Ⅱ：19）。

随着晚期精细胞的成熟，中心粒附属物逐渐退缩（图 1：B、F；图版Ⅰ：10；图版Ⅱ：20）。中心粒附属物全部消失后，近端中心粒也随之退缩（图 1：C、G；图版Ⅰ：11），以至最终全部消失（图 1：D、H；图版Ⅰ：12；图版Ⅱ：22）。

在近端中心粒和中心粒附属物的消退过程中，基体无明显变化，但是基体帽（basal body cap）的结构渐趋完善。在中心粒附属物长度还相当长时，基体帽结构不明显（图1：A；图版Ⅰ：9）。随着中心粒附属物的消退，基体的近核端逐渐积累了电子致密物质，这些电子致密物质即为基体帽的前身（图1：B、C；图版Ⅰ：10、11）。到精子成熟时，基体帽也完全形成（图1：D；图版Ⅰ：12；图版Ⅱ：13）。

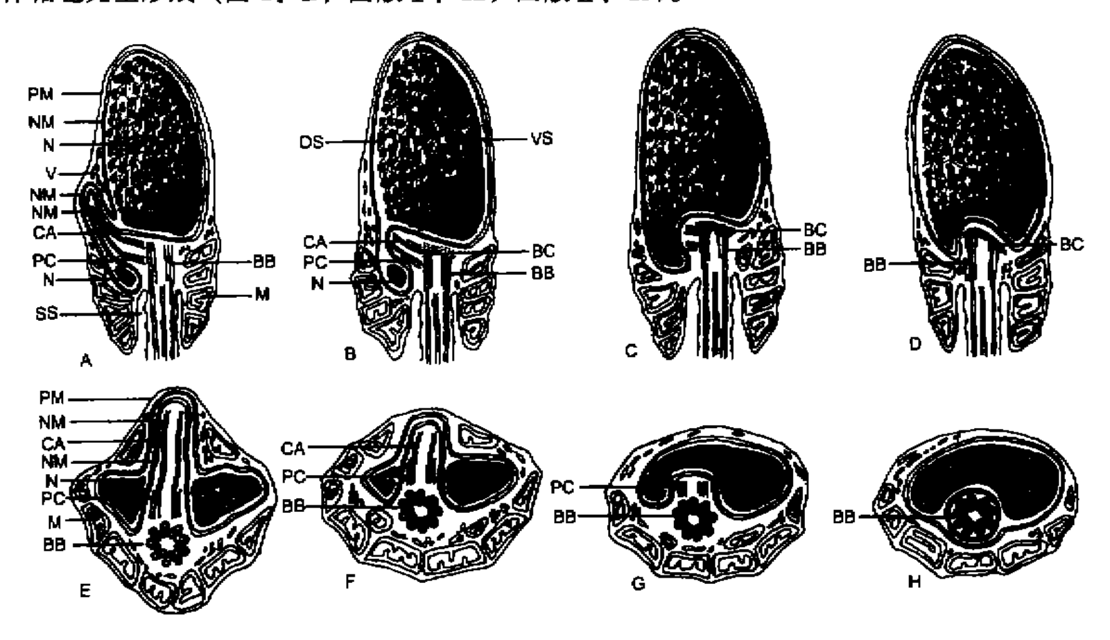


图1 褐菖鲉晚期精细胞成熟过程中的中心粒变化示意图

Fig.1 Diagram of the centriolar changes in the maturation of late spermatid of *Sebastiscus marmoratus*

A~D：正中矢状切面（median sagittal sections）；E~H：经基体的横切面（cross sections through the basal body）；BB：基体（basal body）；BC：中心粒帽（basal body cap）；CA：中心粒附属物（centriolar adjunct）；DS：细胞核的背侧（dorsal side of the nucleus）；M：线粒体（mitochondrion）；N：细胞核（nucleus）；NM：核膜（nuclear membrane）；PC：近端中心粒（proximal centriole）；PM：质膜（plasma membrane）；SS：袖套腔（central space of the sleeve）；V：囊泡（vesicle）；VS：细胞核的腹侧（ventral side of the nucleus）。

2.1.2 细胞核的变化 在精细胞晚期的成熟过程中，染色质的浓缩无明显变化。但由于近端中心粒及其往背侧伸出的中心粒附属物的存在，精细胞晚期的核后端背侧的形状与精子的有较大差异。同时核后端背侧的染色质分布也与精子的有较大差异。在中心粒附属物附近，细胞核无团块状染色质分布（图版Ⅱ：14）。在近端中心粒所在的区域，细胞核的团块状染色质未完全包围近端中心粒（图版Ⅱ：15）。在精细胞逐渐成熟过程中，团块状染色质逐渐将近端中心粒完全包围（图版Ⅱ：16）。在近端中心粒完全消退以后，细胞核背面就看不到近端中心粒（图版Ⅱ：17、22）。

2.1.3 细胞质的变化 在精细胞成熟过程中细胞质无明显变化。晚期精细胞的细胞核和线粒体之间分布着一些囊泡（图版Ⅰ：9~11；图版Ⅱ：19~22）。精子的袖套中亦有一些囊泡（图版Ⅰ：12；图版Ⅱ：13、23），但较晚期精细胞的少。

2.2 精子的结构

褐菖鲉精子由头部、中片和尾部构成。头部和中片紧密连接，尾部细长（图版Ⅰ：1）。

2.2.1 头部 头部的主要结构是细胞核。核前方无顶体，核后端有1较浅的植入窝。头部也有背腹之分。在头部的正中矢状切面上，背侧较平坦，腹侧稍向外突出呈弧形。在头部的额状切面上，核呈椭圆形。核中的染色质浓缩成团块状。团块状的染色质之间有网状间隙，尤以背侧较多；染色质在腹侧则较致密。核的后端染色质更为致密（图版Ⅰ：12；图版Ⅱ：13，18，23）。

2.2.2 中片 紧接核后为中片，由中心粒复合体和袖套组成。中心粒复合体位于植入窝中。中心粒复合体包括基体和基体帽。基体帽在基体的前方，与植入窝处的核膜相近。褐菖鲉的成熟精子无近端中心粒（图版Ⅰ：12；图版Ⅱ：13）。

袖套位于头部之后，约为头部全长的1/2（图版Ⅰ：12；图版Ⅱ：13）。袖套中的线粒体分层排列，约分3～4层，每层10～11个，共约30～40个线粒体。线粒体与细胞核之间有少量囊泡（图版Ⅰ：4、12；图版Ⅱ：13）。

2.2.3 尾部 褐菖鲉精子的尾部为1细长的鞭毛，鞭毛从袖套腔中伸出。鞭毛的中央结构是轴丝，轴丝的两侧有侧鳍。鞭毛近核段（前半段）轴丝两侧的侧鳍不对称，一侧明显地较另一侧为宽（图版Ⅰ：1、2、5）。鞭毛的远核段（后半段）侧鳍明显地变窄，两侧较为对称（图版Ⅰ：1、3、6）。

鞭毛近末端，轴丝解体，失去典型的“9+2”模式（图版Ⅰ：7）。鞭毛最末端，仅余4～5条微管（图版Ⅰ：8）。

2.3 输精管中晚期精细胞和精子的数量

在进行晚期精细胞和精子的计数时，为求精确，只计数经过头部正中矢状切面的精细胞和精子。在正中矢状切面上存在中心粒复合体。根据中心粒复合体的结构就能判定观察到的为晚期精细胞或系精子。共随机选取60个视野。晚期精细胞占总数的74.03%，精子只占25.97%（表1）。由此可见在输精管中存在大量的晚期精细胞。

表1 输精管中晚期精细胞和精子的计数

Table 1 The late spermatid and spermatozoon counts in the vas deferens

分　类	计　数	占总数的百分比/%
总　数	181	—
晚期精细胞	134	74.03
精　子	47	25.97

3 讨 论

3.1 关于中心粒复合体的变化

褐菖鲉的精子无近端中心粒，但晚期精细胞中则存在近端中心粒，且近端中心粒还向精细胞头部背侧伸出类似轴丝结构的中心粒附属物。中心粒附属物及近端中心粒均属暂时性结构。在精细胞晚期的成熟过程中，中心粒附属物与近端中心粒相继消退以至最后完全

消失。

在其他硬骨鱼类的精子形成过程中未见有类似的报道（Grier，1973，1975；Billard，1986；管汀鹭等，1990；张旭晨等，1992），但在哺乳类的精细胞形成精子的过程中也会出现相类似的现象。Fawcett（1969）认为几乎所有哺乳类精细胞的近端中心粒都有中心粒附属物，但该附属物与褐菖鲉的不同：（1）哺乳类的中心粒附属物周围无核膜包被，而褐菖鲉的中心粒附属物被有双层核膜；（2）哺乳类的中心粒附属物由9组三联微管构成，三联微管中的A小管是完整的，B、C小管均未闭合而呈钩状，褐菖鲉的中心粒附属物则由9条微管构成；（3）哺乳类中心粒附属物在精子形成之前消失，近端中心粒并不消失，褐菖鲉的中心粒附属物消失之后，近端中心粒也相继消失；（4）哺乳类中心粒附属物的消失是突发性的，褐菖鲉的中心粒附属物是逐渐退缩以至最终消失的。

哺乳类的精细胞中，中心粒附属物很可能对精子颈段（neck region）的形成起重要作用（Fawcett，1969）。硬骨鱼精子中心粒复合体所在的区域相当于哺乳动物精子的颈段，我们还不能确定中心粒附属物在褐菖鲉晚期精细胞中的真正作用。

褐菖鲉精细胞晚期已具有精子的形态，在其形成精子的过程中除近端中心粒和中心粒附属物产生明显变化外，其他部分并无明显改变。因此，近端中心粒及其附属物的相继消失可视为精子最终成熟的标志。

3.2 关于精子的结构

一般认为体外受精的硬骨鱼精子形态结构比较简单，而体内受精的硬骨鱼类精子结构比较复杂：头部较长，线粒体比较多（Gardiner，1978；施瑔芳，1988）。褐菖鲉精子的头部比较长，线粒体数量比较多（30～40个）。与其他体内受精的硬骨鱼比，褐菖鲉精子的线粒体数量比海鲋（*Cymatogaster aggregata*）的要多（海鲋只有6个线粒体）（Gardiner，1978），但比齿鲽鱼（*Pantodon buchholzi*）要少得多。齿鲽鱼精子的线粒体首尾相连成9条线，并作180～225转的螺旋状扭转，形成一长长的圆筒状线粒体鞘（Deurs等，1973）。

硬骨鱼精子的中心粒复合体一般由近端中心粒和基体组成。褐菖鲉精子则仅有基体，无近端中心粒。同样为体内受精的齿鲽鱼精子，也仅有基体，基体前方也有一帽状结构存在。这与褐菖鲉的情形十分相似。但齿鲽鱼精子的基体帽呈片层状（Deurs等，1973），而褐菖鲉精子的基体帽则看不出有片层状结构。体内受精的其他硬骨鱼如花鳉属的*P. latipinna*和海鲋等均有近端中心粒和基体（Grier，1973；Gardiner，1978）。在体外受精的硬骨鱼中，斑点叉尾鮰的精子也无近端中心粒，但具有2个基体（Poirier等，1982）。

3.3 关于输精管中存在晚期精细胞的推论

褐菖鲉输精管中除有已经成熟的精子外，还有大量的晚期精细胞（表1）。近来我们对雌性褐菖鲉的生殖进行研究时发现它是多次产卵类型的鱼类。在生殖季节初产仔鱼后，卵巢中尚存在大量的Ⅲ、Ⅳ时相卵。这些卵母细胞将继续发育成熟受精。卵巢的结构也较特殊，这是与其卵胎生的生殖方式相适应的。在硬骨鱼类中，胎生或卵胎生这种生殖方式是在长期的进化过程中从卵生进化而来的（王义强等，1990）。胎生或卵胎生硬骨鱼的精子要进入雌鱼卵巢中才能完成受精作用。体内受精环境与体外受精环境不同。有些胎生或卵胎生硬骨鱼的受精过程相当复杂（Yoshitaka，1983；Bone等，1995）。我们推测褐菖鲉

的受精方式可能是“一次交配多次受精”的类型：输精管中的晚期精细胞和精子进入卵巢后，只有成熟精子能与成熟的卵受精。晚期精细胞可能贮存于卵巢中继续变态成为精子，待卵巢中又有一批未成熟卵发育成熟，即两相结合以完成受精作用。这一推测正确与否尚待进一步研究。东方蝾螈（蔡堡，1978）和鸟类是一次交配多次产受精卵的物种，但作者尚未见东方蝾螈和鸟类体内也有晚期精细胞进入的报道。

图 版 说 明

A：轴丝（axoneme）；BB：基体（basal body）；BC：基体帽（basal body cap）；CA：中心粒附属物（centriolar adjunct）；DS：细胞核的背侧（dorsal side of the nucleus）；LF：侧鳍（lateral fin）；M：线粒体（mitochondrion）；N：细胞核（nucleus）；PC：近端中心粒（proximal centriole）；S：袖套（sleeve）；SS：袖套腔（central space of the sleeve）；V：囊泡（vesicle）；VS：细胞核的腹侧（ventral side of the nucleus）。

图版Ⅰ

1a 褐菖鲉精子的电镜负染照片 [a negative staining photo of the spermatozoon of *Sebastiscus marmoratus* (Cuvier *et* Valenciennes)] ×4 750

1b 精子头部光学显微镜照片，示袖套 [a light microscope photo of the spermatozoon's head, showing the sleeve connected to the nucleus] ×2 620

2 鞭毛近核段的电镜负染照片，示轴丝两侧的侧鳍不对称 [a negative staining photo of the proximal piece of the flagellum, showing the lateral fins beside the axoneme are asymmetric] ×30 000

3 鞭毛远核段的电镜负染照片 [a negative staining photo of the distal piece of the flagellum] ×30 000

4 袖套的横切面 [a cross section of the sleeve] ×30 000

5 鞭毛近核段的横切面 [a cross section of the proximal piece of the flagellum] ×30 000

6 鞭毛远核段的横切面 [a cross section of the distal piece of the flagellum] ×30 000

7 鞭毛近末端的横切面，示轴丝的解体 [a cross section nearby the end of the flagellum, showing the degeration of the axoneme] ×30 000

8 鞭毛末端的横切面 [a cross section of the flagellum end] ×30 000

9～11 晚期精细胞的正中矢状切面。9：示中心粒附属物和近端中心粒；10：示中心粒附属物已退缩；11：示近端中心粒的退缩 [median sagittal sections of the late spermatid. 9: showing the centriolar adjunct and the proximal centriole; 10: showing the centriolar adjunct has shrinked; 11: showing the proximal centriolar is shrinking back] ×25 000

12 成熟精子的正中矢状切面 [a median sagittal section of a spermatozoon] ×25 000

图版Ⅱ

13 精子头部腹侧的额状切面 [a frontal section through the ventral part of the spermatozoon's head] ×25 000

14～16 晚期精细胞头部背侧的额状切面。14：切面经中心粒附属物；15：切面经近端中心粒，此时在近端中心粒的一侧尚缺染色质；16：切面经近端中心粒，此时近端中心粒的周围全为染色质所包围 [frontal sections through the dorsal part of the late spermatid's head. 14: the section through the centriolar adjunct; 15: the section through the proximal centriole. At this time there is no chromatin at one side of the proximal centriole. 16: the section through the proximal centriole. At this time there is chromatin around the proximal centriole] ×25 000

17 精子头部背侧的额状切面 [a frontal section through the dorsal part of the spermatozoon's head] ×25 000

18 精子头部横切，示细胞核腹侧染色质较背侧致密 [a cross section through the spermatozoon's head, showing the chromatin in the ventral part of thenucleus is denser than that in the dorsal part] ×25 000

19～22 经晚期精细胞基体的横切面。19：示中心粒附属物和近端中心粒；20：示中心粒附属物的退缩；21：示中心粒附属物已消失；22：示近端中心粒已消失 [cross sections through the basal body of the late spermatid's head. 19: showingthe centriolar adjunct and the proximal centriole; 20: showing the shinking of the centriolar adjunct; 21: showing the disappearing of the centriolar adjunct; 22: showing the disappearing of the proximal centriole] ×25 000

23 经精子基体的横切面 [a cross section through the basal body of the spermatozoon] ×25 000

参 考 文 献

王义强，黄世蕉，赵维信等，1990. 鱼类生理学. 上海：上海科技出版社. 256～257.
尤永隆，林丹军，1996a. 黄颡鱼精子的超微结构. 实验生物学报，29 (3)：235～245.
尤永隆，林丹军，1996b. 鲤鱼精子超微结构的研究. 动物学研究，17 (4)：377～383.
尤永隆，林丹军，1997. 大黄鱼精子的超微结构. 动物学报，43 (2)：119～126.
朱元鼎，1985. 福建鱼类志（下卷）. 福州：福建科学技术出版社. 450～451.

张旭晨，王所安，1992．细鳞鱼精巢超微结构和精子发生．动物学报，38（4）：355～358．

施瑔芳，1988．鱼类性腺发育研究新进展．水生生物学报，12（3）：248～258．

蔡 堡，1978．东方蝾螈胚胎发育图谱．北京：科学出版社．7～12．

管汀鹭，黄丹青，黄国屏，1990．金鱼精巢的细胞构造与精子的发生和形成．水生生物学报，14（3）：233～237．

Billard R, 1986. Spermatogenesis and spermatology of some teleost fish species. *Reprod. Nutr. Develop.*, **26** (4): 877-920.

Bone Q, Marshall N B, Blaxter J H S, 1995. Biology of fishes (2nd ed). London: Blackie Academic and Professional. 170-194.

Deurs B van, Lastein U, 1973. Ultrastructure of the spermatozoa of the teleost *Pantodon buchholzi* Peters, with particular reference to the midpiece. *J. Ultrastruct. Res.*, **42**: 517-533.

Fawcett D W, Philips D M, 1969. The fine structure and development of the neck region of the mammalian spermatozoon. *Anat. Rec.*, **165**: 153-184.

Gardiner D M, 1978. Fine structure of the spermatozoon of the viviparous teleost, *Cymatogaster aggregata*. *J. Fish Biol.*, 13: 435-438.

Grier H J, 1973. Ultrastructure of the testis in the teleost *Poecilia latipinna*. Spermiogenesis with reference to the intercentriolar lamellated body. *J. Ultrastruct. Res.*, **45**: 82-92.

Grier H J, 1975. Aspects of germinal cyst and sperm development in *Poecilia latipinna* (Teleostei: Poeciliidae). *J. Morph.*, **146**: 229-250.

Poirier G R, Nicholson N, 1982. Fine structure of the testicular spermatozoa from the channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *J. Ultrastruct. Res.*, **80**: 104-110.

Yoshitaka N, 1983. The functional morphology of teleost gonads. In: Fish physiology, Vol. IX, A. New York: Academic Press. 231-233.

A STUDY ON THE CHANGES DURING THE MATURATION OF THE LATE SPERMATID AND THE STRUCTURE OF THE SPERMATOZOON OF *Sebastiscus marmoratus*

LIN Dan-jun YOU Yong-long

(*Bioengineering College, Fujian Normal University, Fuzhou 350007*)

Abstract

The late spermatid of ovoviviparous teleost, *Sebastiscus marmoratus* (Cuvier *et* Valenciennes) possessed the approximate morphology of mature spermatozoon. The dorsal side of the nucleus was flat wheras its ventral side protruded outwards slightly. The chromatin condensed into wads. At its ventral part and posterior end, the chromatin was more compacted. The centriolar complex consisted of proximal centriole and basal body. The proximal centriole was perpendicular to the basal body, thus, the complex was L-shaped. A centriolar adjunct stretched out of the proximal centriole and pointed towards the dorsal side of the nucleus. The centriolar adjunct was composed of 9 microtubules. They formed cylinder-shape as the axoneme. During the process of transforming into spermatozoon, the centriolar adjunct and proximal centriole shrank back in succession, and finally disappeared completely. At the same time, the changes of the shape of the posterior end of the nucleus took place. The disappearing of the centriolar adjunct and proximal centriole in succession might be considered as a sign of being mature completely of the spermatid. The centriolar complex of the spermatozoon consisted of basal body and basal body cap which was between the basal body and the nuclear membrane. The sleeve was connected to the posterior end of the nucleus. There were about 30-40 mitochondria in the sleeve. The flagellum stretched out of the central space of the sleeve. The central structure

of the flagellum was axoneme. There was one lateral fin at each side of the axoneme. At the proximal piece of the flagellum the lateral fins beside the axoneme were broad and asymmetrical.

Key words *Sebastiscus marmoratus*, Late spermatid, Centriolar complex, Spermatozoon, Ultrastructure

(上接第358页)

高度和痕迹部位)。对外业数据用SYSTAT统计软件进行数理分析，判断其活动痕迹与相应环境因子的关联程度，从而分析小熊猫对生境的选择性。

3 结 果

3.1 对生境的选择 对外业数据的分析表明，该地区小熊猫主要分布于海拔3 000～3 270 m的箭竹林中，并对高于竹林的突出物（乔木、岩石）、竹子的高度及密度存在着明显的选择性。其活动痕迹的出现频率与突出物呈明显正相关（$R=0.911$，$B=0.941$，$P<0.001$），而与竹子高度（$R=0.301$，$B=-0.397$，$P<0.001$）、密度（$R=0.159$，$B=-0.104$，$P<0.005$）呈明显负相关。但在研究区域内，小熊猫对坡度（$P>0.05$）、坡向（东西坡分别占痕迹频率的49.1%、50.9%）并无明显选择。

表1 小熊猫活动痕迹与生境因子相关性分析

Table 1 The correlation and regression analysis on red panda's excrement and environmental factors

因 子	相关系数（R）	回归系数（B）	F值	P值	备 注
突出物	0.911	0.941	709.260	0.000	$N=148$
竹子高度	0.301	−0.397	14.525	0.000	$R_{0.05}=0.159$，$R_{0.01}=0.208$
竹子密度	0.159	−0.104	3.879	0.047	$DF_{1,146}$
坡 度	0.114	0.012	3.655	0.058	$F_{0.05}=3.84$，$F_{0.01}=6.63$

3.2 采食行为 对小熊猫粪便和采食残迹的观察统计表明，研究区域内小熊猫几乎全部以箭竹叶为食。在所观察的186团粪便中，只有10团中含有花椒种子，占5.6%，而94.4%的粪便全是细碎竹叶。根据几个明显采食场的采食残迹分析表明，小熊猫对不同空间部位的竹叶并无选择性，而主要与采食时的身体位置有关。

4 讨 论

有研究表明竹叶所含的细胞可溶性物质比竹枝、竹杆高，而植物纤维含量却低（胡锦矗等，1987；唐雅英等，1983）。小熊猫采食营养质量相对较高并易于取食和消化的竹叶，放弃相对营养质量较低且难于采食和消化的竹枝、竹杆。这种觅食对策既降低了采食难度，减少了自身能耗，又因采食营养质量相对较高的竹叶而获取了最大净收益。

小熊猫对生境的选择特点也反映了其优化的生态对策。小熊猫对竹子高度的选择是由于自身较小的体型所致。在无明显突出物的云龙箭竹中，与其身体等高处竹杆几乎无叶可采，故极少见其活动痕迹。在无突出物的矩鞘箭竹中，小熊猫也放弃中上层竹叶。对突出物的选择则主要是小熊猫可以依托突出物取食不同空间部位的竹叶。在山顶部较低（$h=1.5$ m）的矩鞘箭竹中也少见其活动痕迹，估计是竹子密度过大（$d=43$ 株/m^2）不利于其活动的缘故。

研究区域内小熊猫没有表现出对坡度、坡向的选择。小熊猫的分布主要受其食物分布的限制。

胡 刚
HU Gang
（西南林学院森林保护系 昆明 650224）
（*Department of Forest Conservation, Southwest Forestry College, Kunming* 650224）


S
1b
1a
LF
A
LF
2
A
3
SS
M
4
LF
LF
5
LF
LF
6
7
8
DS
VS
N
V
V
CA
PC
BB
N
M
A
9
DS
VS
N
V
PC
BC
N
BB
M
A
10
DS
N
VS
PC
BC
BB
A
11
VS
DS
N
BC
BB
A
12

(图版说明见正文)


N
BC
BB
V
SS
M
A
13
N
CA
14
N
PC
15
N
PC
16
N
17
DS
N
VS
18
CA
PC
N
N
BB
20
PC
N
N
BB
21
CA
PC
N
N
BB
19
N
BB
22
N
BB
23

(图版说明见正文)